

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-126851

(43) 公開日 平成9年(1997)5月16日

(51) Int.Cl.[°]

G 0 1 F 1/84

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 1 F 1/84

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平7-333837

(22) 出願日 平成7年(1995)12月22日

(31) 優先権主張番号 特願平7-220128

(32) 優先日 平7(1995)8月29日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005234

富士電機株式会社

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

(72) 発明者 吉村 弘幸

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(72) 発明者 工藤 高裕

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(72) 発明者 木代 雅巳

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

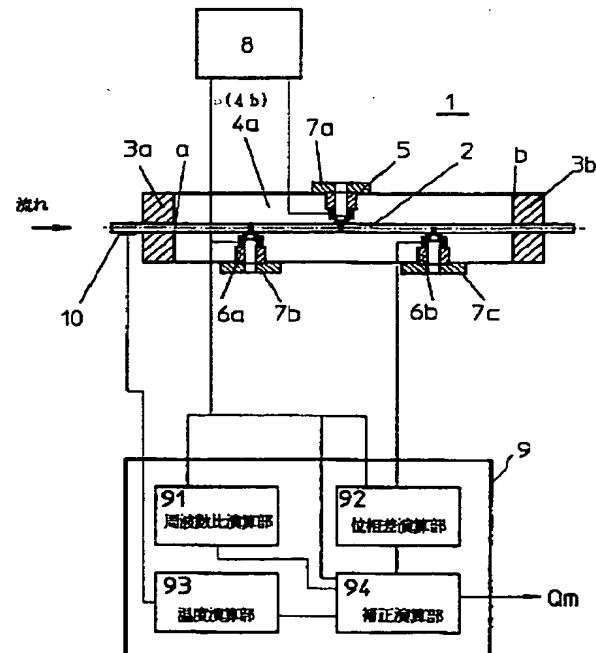
(74) 代理人 弁理士 松崎 清

(54) 【発明の名称】 振動型測定器

(57) 【要約】

【課題】 構造を特に複雑化することなく、質量流量または密度を高精度に測定可能とする。

【解決手段】 振動検出器としてのセンサ6a、6bの各出力信号の位相差または時間差が測定管2の温度と軸力の関数である事、また軸力は測定管2の第1振動モードの共振周波数と第2振動モードの共振周波数との比の関数である事に着目し、位相差演算部92で求められる位相差を、周波数比演算部91および温度演算部93からの出力でそれぞれ補正すると共に、測定管2の第2の振動モードの腹(第1の振動モードの節にする例等もある)に相当する位置に、第2の振動モードの検出器6d(ここでは6aで兼用)を設け、検出感度を向上させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 加振される少なくとも1本の直管状測定管内を流れる流体の質量流量または密度の少なくとも一方を測定するとともに、前記測定管の第1の振動モードの共振周波数と第2の振動モードの共振周波数との比を求め、これらの共振周波数比にもとづき測定値の補正を行なう振動型測定器であって、

前記質量流量により測定管に発生するたわみ振動、または測定管の第1の振動モードの共振周波数、若しくはこれらの双方を検出する単数または複数の第1振動検出器と、測定管の第2の振動モードの共振周波数を検出する単数または複数の第2振動検出器とを備え、この第2振動検出器の設置位置を第2の振動モードの腹付近とすることを特徴とする振動型測定器。

【請求項2】 加振される少なくとも1本の直管状測定管内を流れる流体の質量流量または密度の少なくとも一方を測定するとともに、前記測定管の第1の振動モードの共振周波数と第2の振動モードの共振周波数との比を求め、これらの共振周波数比にもとづき測定値の補正を行なう振動型測定器であって、

前記質量流量により測定管に発生するたわみ振動、または測定管の第1の振動モードの共振周波数、若しくはこれらの双方を検出する単数または複数の第1振動検出器と、測定管の第2の振動モードの共振周波数を検出する単数または複数の第2振動検出器とを備え、この第2振動検出器の設置位置を第1の振動モードの節付近とすることを特徴とする振動型測定器。

【請求項3】 加振される少なくとも1本の直管状測定管内を流れる流体の質量流量または密度の少なくとも一方を測定するとともに、前記測定管の第1の振動モードの共振周波数と第2の振動モードの共振周波数との比を求め、これらの共振周波数比にもとづき測定値の補正を行なう振動型測定器であって、

前記質量流量により測定管に発生するたわみ振動、または測定管の第1の振動モードの共振周波数、若しくはこれらの双方を検出する単数または複数の第1振動検出器と、測定管の第2の振動モードの共振周波数を検出する単数または複数の第2振動検出器とを備え、前記第1振動検出器の設置位置を第2の振動モードの節付近とすることを特徴とする振動型測定器。

【請求項4】 加振される少なくとも1本の直管状測定管内を流れる流体の質量流量または密度の少なくとも一方を測定するとともに、前記測定管の第1の振動モードの共振周波数と第2の振動モードの共振周波数との比を求め、これらの共振周波数比にもとづき測定値の補正を行なう振動型測定器であって、

前記質量流量により測定管に発生するたわみ振動、または測定管の第1の振動モードの共振周波数、若しくはこれらの双方を検出する単数または複数の第1振動検出器、測定管の第2の振動モードの共振周波数を検出する

単数または複数の第2振動検出器のいずれか一方の種別の振動検出器を設け、これにより他方の種別の振動検出器を兼用することを特徴とする振動型測定器。

【請求項5】 前記いずれか一方の種別の振動検出器の設置位置を第2の振動モードの腹の付近とすることを特徴とする請求項4に記載の振動型測定器。

【請求項6】 前記第1振動検出器または第2振動検出器の個数が複数のときは、それぞれ前記測定管の長さ方向の中心に対して対称の位置に取り付けることを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の振動型測定器。

【請求項7】 前記第1振動検出器または第2振動検出器の個数が単数のときは、第1振動検出器または第2振動検出器に対し、前記測定管の長さ方向の中心に対して対称の位置に、第1振動検出器または第2振動検出器とほぼ同一質量のバランス・ウェイトを取り付けることを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の振動型測定器。

【請求項8】 加振される少なくとも1本の直管状測定管内を流れる流体の質量流量または密度の少なくとも一方を測定するとともに、前記測定管の第1の振動モードの共振周波数と第2の振動モードの共振周波数との比を求め、これらの共振周波数比にもとづき測定値の補正を行なう振動型測定器であって、前記測定管を、その第1の振動モード周波数による励振と、第2の振動モード周波数付近の励振とを重畳して励振することを特徴とする振動型測定器。

【請求項9】 前記第2の振動モード周波数付近での励振周波数に対応して、その中心周波数の制御が可能な帯域通過フィルタを含むことを特徴とする請求項8に記載の振動型測定器。

【請求項10】 前記帯域通過フィルタがスイッチドキャパシタフィルタであることを特徴とする請求項9に記載の振動型測定器。

【請求項11】 前記第2の振動モード周波数付近の励振が、第2の振動モード周波数を含む周波数の範囲で時間的に掃引されることを特徴とする請求項8に記載の振動型測定器。

【請求項12】 前記第1、第2励振信号の少なくとも一方の周波数を監視し、これが予め定められた前記第1、第2励振信号の最大周波数を逸脱した場合は、前記帯域通過フィルタの中心周波数を強制的に予め定められた初期周波数に設定することを特徴とする請求項9に記載の振動型測定器。

【請求項13】 前記第1、第2励振信号の少なくとも一方の周波数を監視し、これが予め定められた前記第1、第2励振信号の最大周波数を逸脱した場合は、前記帯域通過フィルタの中心周波数を強制的に最小周波数から掃引することを特徴とする請求項9に記載の振動型測定器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、加振される少なくとも1本の直管状測定管を有し、この測定管内を流れる流体の質量流量にもとづき発生するコリオリ力を利用して質量流量を測定する質量流量計、または上記測定管内の流体の密度変化に応じて変化する測定管の共振周波数の変化により流体密度を測定する振動式の密度計、もしくは両方の機能を持つ振動型測定器、特に流体温度、周囲温度や軸力（応力）によって変化する測定値を補正

【0002】

【従来の技術】図14は直管式質量流量計の従来例を示す構成図である。検出部1は1本の直管状測定管2と、この測定管2の振動の節部a、bを固定する左右の固定材3a、3bと、固定材3a、3bの振動を互いにキャンセルするよう、ネジ止めまたは溶接等の手段により固定材3a、3bに固定されたり、または固定材3a、3bと一体的に成形された支持部4aおよび4b（4aのみ図示）と、アダプタ7aによりそれぞれ支持部4a、4bに固定されたコイルと測定管2の中央部に固定されたマグネットにより構成され、測定管2をその共振周波数で振動させる（加振する）振動発生器5とを有している。

【0003】検出部1はさらに、振動発生器5と同じくアダプタ7b、7cにより支持部4a、4bに固定されたコイルと、測定管2上の振動発生器5を中心とするほぼ対称な位置にそれぞれ固定されたマグネットにより構成され、測定管2の振動を検出する速度検出センサ（または変位センサ、加速度センサでも良い）6a、6bと、速度検出センサ6aからの出力を受けてその信号振

$$Y_a = \eta(a) \sin \omega_n t$$

と表わされる。

$\eta(a)$ ：測定管の長手方向の位置aにおける振幅を表わす関数

ω_n ：測定管の共振周波数

※

$$y_a = \{-2L^3 Q_m \omega_n \eta_c(a) \cos \omega_n t\} / EI \quad \dots (2)$$

L：測定管の長さ

E：測定管のヤング率

I：測定管の断面2次モーメント

Q_m ：測定管内を流れる流体の質量流量

$\eta_c(a)$ ：測定管の長手方向の位置aにおける流体か★

$$\xi a = Y_a + y_a = A \sin(\omega_n t - \alpha) \quad \dots (3)$$

ここに、

$$A = [\eta(a)^2 + \{2L^3 Q_m \omega_n \eta_c(a) / EI\}^2]^{1/2} \quad \dots (4)$$

$$\alpha = 2L^3 Q_m \omega_n \eta_c(a) / EI \eta(a) \quad \dots (5)$$

【0009】変位センサ6bにおける測定管の横振動の変位は、これが測定管の中央部に関し変位センサ6aと★

$$Y_b = Y_a = \eta(a) \sin \omega_n t \quad \dots (6)$$

また、変位センサ6bにおける流体からの測定管への反

＊幅が一定となるよう、振動発生器5に対して駆動信号を出力する駆動回路8と、速度検出センサ6a、6bからの信号の位相差（時間差）にもとづき質量流量信号 Q_m を出力する信号処理回路9とから構成されている。

【0004】ここで、以上の如く構成された検出部1において、流体の流量がゼロの場合について考える。すなわち、測定管2は速度検出センサ6a、振動発生器5および駆動回路8により、その共振周波数で加振されている。また、速度検出センサ6a、6bは測定管2の中央部に対して対称な位置に取り付けられているため、これらのセンサ6a、6bからは互いに位相差のない同じ振幅の信号が得られることになる。

【0005】これに対し、流れが生じて振動する測定管2内を流体が流れると、測定管2の節aから測定管2の中央部に向かうに従い、図15に示されるように振動方向の速度成分が増加するため、測定管2内を流れる流体には振動方向に測定管2から正の加速度が作用する。したがって、その反作用として測定管2には流体から反力が作用するため、図16に示されるように測定管2の節aから測定管2の中央部では、振動の位相が遅れる方向に変形する。また、測定管2の中央部から節bに向かうに従い、振動方向の速度成分は減少するため、測定管2内を流れる流体には振動方向に測定管2から負の加速度が作用する。したがって、その反作用として測定管2には流体からの反力が作用し、図16のように測定管2の中央部から節bでは振動の位相が進む方向の変形力を受ける。

【0006】以下、その変形を数式を用いて説明する。いま、変位センサ6aにおける測定管2の変位は、共振による測定管2の横振動の変位から、

$$\dots (1)$$

※【0007】また、変位センサ6aにおける流体からの反力による測定管のたわみ形状は、下記（2）式となる。

★らの反力による測定管の変形振幅を与える関数

【0008】実際の測定管のたわみ形状は（1）式の共振による測定管のたわみに、（2）式の測定管の変形が重畳して振動する。つまり、測定管のたわみ形状は（1）、（2）式を合成して（3）式ようになる。

☆対称な位置に取り付けられているため、変位センサ6aにおける測定管の変位と同じになる。すなわち、

力、変位センサ6aにおける流体からの反力と大きさ

は同じで方向は反対であるから、

$$y_b = -y_a = \{2L^3 Q_m \omega_n \eta_c(a) \cos \omega_n t\} / EI \cdots (7)$$

となる。

* 管のたわみ形状は、

【0010】したがって、変位センサ6bにおける測定*

$$\xi_b = Y_a - y_a = A \sin(\omega_n t + \alpha) \cdots (8)$$

となる。上記(3)、(8)式より、変位センサ6a、

*とが分かる。よって、変位センサ6a、6bの信号間の時間差は、

6bの信号間には2αの位相差があることが分かり、この位相差2αは(5)式より質量流量Qmに比例するこ※

$$\Delta t = 2\alpha / \omega_n = 4L^3 Q_m \eta_c(a) / EI \eta(a) \cdots (9)$$

となる。

10★式で与えられる。

【0011】また、測定管の共振周波数は次の(10)★

$$\omega_n = \lambda^2 / L^2 \cdot (EI / \rho)^{1/2} \cdots (10)$$

λ：測定管の境界条件と振動モードで決定される定数

☆ことが分かる。

ρ：測定管と測定管内の流体を含めた線密度

【0012】これまでは、測定管に作用する軸力(応

ところで、測定管の温度が変化すると、(5)または

力)の影響を無視したが、軸力の影響を考慮すると、測

(9)式より、ヤング率Eの温度依存性から、質量流量

定管の振幅を示す関数ηは測定管の位置だけでなく軸力

Qmが一定でもセンサ出力信号の位相差や時間差が変化

Tの関数ともなることから、先の(1)式は次の(1

することが分かる。同様に、測定流体に密度変化が

1)式のようになる。

ない場合でも、(10)式の共振周波数ωnも変化する☆

$$Y_a = \eta(a, T) \sin \omega_n t \cdots (11)$$

したがって、先の(5)式、(9)式は下記の(1 ◆ ◆ 2)、(13)式のようになる。

$$\alpha = 2L^3 Q_m \omega_n \eta_c(a, T) / EI \eta(a, T) \cdots (12)$$

$$\Delta t = 2\alpha / \omega_n = 4L^3 Q_m \eta_c(a, T) / EI \eta(a, T) \cdots (13)$$

【0013】すなわち、質量流量に比例して発生する位相差や時間差は、測定管に作用する軸力によっても変化*

*することが分かる。このときの測定管の共振周波数ωnは、

$$\omega_n = \lambda_n(T)^2 / L^2 \cdot (EI / \rho)^{1/2} \cdots (14)$$

となり、測定管の共振周波数ωnも測定管に作用している軸力の関数となっている。

6-94501号公報に示すものなどがある。前者によれば、2つの温度センサを支持管と、実質的に測定管の

【0014】一般的に、測定管を振動させ、測定管内を流れる流体の質量流量にもとづいて発生するコリオリ力を利用して質量流量を測定する質量流量計では、測定流体の温度変化や周囲温度の変化によって測定管の温度が変化した場合、測定管のヤング率の温度依存性により測定管の剛性が変化し、コリオリ力に対する感度が変化して流量測定値が変化する。また、直管状の測定管を有するコリオリ式の質量流量計の場合、上述のように温度などの変化による測定管や支持部の膨張、収縮によって測定管に作用する軸力(応力)が変化し、この軸力の変化にて質量流量の感度が変化することになる。

30 温度に等しい位置に、それぞれ取り付け、この2つの温度センサからの信号を補正回路に導くとともに、2つの振動センサから導かれた流量信号も同様に補正回路に入力して、補正を実施するようにしている。

【0017】一方、後者では、流量測定値を測定管の温度に対応して補正するため、測定管の温度を検出する温度センサと、測定値を測定管の長さおよび応力に依存して補正するための長さ変化センサ(例えばストレインゲージなどのひずみゲージ)とを設け、それぞれの信号を補正回路に導いて補正するようにしている。

40 【0018】

【発明が解決しようとする課題】前者のように、測定管と支持部の温度測定を行ない、ヤング率の変化に伴う変化と、間接的に測定管の軸力を推定する場合、温度安定時でも流体の温度と環境温度の差により、各部での温度勾配が異なる場合がある。また、流体温度や環境温度が変化する過渡的な状態においては、各部の温度勾配は当然安定しない。したがって、上記のような各状態においては測定管や支持部の平均温度を評価できる温度の測定位置が常に変化するため、或る特定位置の温度測定では正確な測定値の補正ができない場合が生じる。

【0015】また、振動式の密度計においても同様に、測定流体の温度変化や周囲温度の変化によって測定管の温度が変化すると、測定管のヤング率の温度依存性により共振周波数が変化し、測定誤差が発生する。特に、直管状の測定管を有するものでは、測定管に作用する軸力の変化に伴って共振周波数が変化するため、測定値に誤差が生じるわけである。

【0016】以上のように、温度環境の変化に伴って質量流量計の感度や測定値に変動が生じた場合の補正方式としては、例えば特公平5-69452号公報や特開平

【0019】一方、後者のように直接測定管の歪みを測定するものでは、前者の方式に比べ歪みを直接測定していることから、正確な補正が可能となる点で優れているが、測定管に直接ストレインゲージ等を取り付ける必要があるため、測定管の振動特性に悪影響を及ぼし、測定の安定性に問題が生じる。このような影響を避けるため、後者では質量体を測定管の両側に取り付け、その外側にストレインゲージを貼り付ける構成を提案している。このとき、測定管の振動を安定化するため、質量体の質量を測定管に対して十分に大きくする必要があり、流量計が大型化し重くなるという別の問題が発生する。

【0020】また、支持部にストレインゲージを貼り付ける別の構成も提案されているが、測定管を安定に振動させるには、支持部の剛性を十分に大きくする必要があるので、測定管の断面積は支持部の断面積に比較してかなり小さく、支持部に発生する歪みは測定管の歪みに比べてかなり小さくなるため、支持部の歪みから測定管の歪みを推定する方式は、誤差が大きくなるという問題が生じる。さらに長さ変化ロットを設け、測定管の長さを測定する実施例も開示されているが、構造が複雑でコストアップになるという問題もある。

【0021】ところで、先の(14)式からも明らかのように、測定管の共振周波数は軸力(応力)Tの変化に伴って変化する。境界条件と振動モードによって定まる。(T)の軸力変化に伴う変化量は、各振動モード毎に異なるため、各振動モードの共振周波数比は作用する軸力の変化に伴って変化する。測定管に作用する軸力が変化した場合の基本モード共振周波数と2次モード共振周波数との比、または基本モード共振周波数と3次モード共振周波数との比について、図13(イ)、(ロ)に示す。これらの図からも明らかのように、各モード間の共振周波数比はほぼ直線的に変化し、これは任意のモード間の共振周波数比についても成立する。

【0022】このことは、各モード間の共振周波数比を測定することにより、測定管に作用する軸力を知ることができることを示している。そこで、出願人はこの点に着目し、測定管に作用する軸力の変化に伴う流量測定感度および密度測定値の変化を、共振周波数比に応じて補正する方法について、既に出願している(例えば特願平6-215663号参照)。

【0023】しかしながら、上記出願は原理的な提案に過ぎず、具体的な構成等について種々の改良の余地が残されている。したがって、この発明の課題は測定管に作用する軸力の変化に伴う流量測定感度および密度測定値の変化を、共振周波数比に応じて補正することで測定精度を向上させるとともに、構造を複雑化することなく測定感度を向上させることにある。

【0024】

【課題を解決するための手段】このような課題を解決するため、請求項1の発明では、加振される少なくとも1

本の直管状測定管内を流れる流体の質量流量または密度の少なくとも一方を測定するとともに、前記測定管の第1の振動モードの共振周波数と第2の振動モードの共振周波数との比を求め、これらの共振周波数比にもとづき測定値の補正を行なう振動型測定器であって、前記質量流量により測定管に発生するたわみ振動、または測定管の第1の振動モードの共振周波数、若しくはこれらの双方を検出する単数または複数の第1振動検出器と、測定管の第2の振動モードの共振周波数を検出する単数または複数の第2振動検出器とを備え、この第2振動検出器の設置位置を第2の振動モードの腹付近とすることを特徴としている。

【0025】請求項2の発明では、加振される少なくとも1本の直管状測定管内を流れる流体の質量流量または密度の少なくとも一方を測定するとともに、前記測定管の第1の振動モードの共振周波数と第2の振動モードの共振周波数との比を求め、これらの共振周波数比にもとづき測定値の補正を行なう振動型測定器であって、前記質量流量により測定管に発生するたわみ振動、または測定管の第1の振動モードの共振周波数、若しくはこれらの双方を検出する単数または複数の第1振動検出器と、測定管の第2の振動モードの共振周波数を検出する単数または複数の第2振動検出器とを備え、この第2振動検出器の設置位置を第1の振動モードの節付近とすることを特徴としている。

【0026】請求項3の発明では、加振される少なくとも1本の直管状測定管内を流れる流体の質量流量または密度の少なくとも一方を測定するとともに、前記測定管の第1の振動モードの共振周波数と第2の振動モードの共振周波数との比を求め、これらの共振周波数比にもとづき測定値の補正を行なう振動型測定器であって、前記質量流量により測定管に発生するたわみ振動、または測定管の第1の振動モードの共振周波数、若しくはこれらの双方を検出する単数または複数の第1振動検出器と、測定管の第2の振動モードの共振周波数を検出する単数または複数の第2振動検出器とを備え、前記第1振動検出器の設置位置を第2の振動モードの節付近とすることを特徴としている。

【0027】請求項4の発明では、加振される少なくとも1本の直管状測定管内を流れる流体の質量流量または密度の少なくとも一方を測定するとともに、前記測定管の第1の振動モードの共振周波数と第2の振動モードの共振周波数との比を求め、これらの共振周波数比にもとづき測定値の補正を行なう振動型測定器であって、前記質量流量により測定管に発生するたわみ振動、または測定管の第1の振動モードの共振周波数、若しくはこれらの双方を検出する単数または複数の第1振動検出器、測定管の第2の振動モードの共振周波数を検出する単数または複数の第2振動検出器のいずれか一方の種別の振動検出器を設け、これにより他方の種別の振動検出器を兼

用することを特徴としている。

【0028】請求項4の発明では、前記いずれか一方の種類の振動検出器の設置位置を第2の振動モードの腹付近とすることができ（請求項5の発明）、これら請求項1ないし5の発明では、前記第1振動検出器または第2振動検出器の個数が複数のときは、それぞれ前記測定管の長さ方向の中心に対して対称の位置に取り付けることができる（請求項6の発明）。また、請求項1ないし6の発明では、前記第1振動検出器または第2振動検出器の個数が単数のときは、第1振動検出器または第2振動検出器に対し、前記測定管の長さ方向の中心に対して対称の位置に、第1振動検出器または第2振動検出器とはほぼ同一質量のバランス・ウェイトを取り付けることができる（請求項7の発明）。

【0029】請求項8の発明では、加振される少なくとも1本の直管状測定管内を流れる流体の質量流量または密度の少なくとも一方を測定するとともに、前記測定管の第1の振動モードの共振周波数と第2の振動モードの共振周波数との比を求め、これらの共振周波数比にもとづき測定値の補正を行なう振動型測定器であって、前記測定管を、その第1の振動モード周波数による励振と、第2の振動モード周波数付近の励振とを重畳して励振することを特徴としている。この請求項8の発明では、前記第2の振動モード周波数付近での励振周波数に対応して、その中心周波数の制御が可能な帯域通過フィルタを含むことができ（請求項9の発明）、または、前記第2の振動モード周波数付近の励振が、第2の振動モード周波数を含む周波数の範囲で時間的に掃引されることができる（請求項11の発明）。さらに、請求項9の発明の帯域通過フィルタは、スイッチドキャパシタフィルタであることができる（請求項10の発明）。また、請求項9の発明では、前記第1、第2励振信号の少なくとも一方の周波数を監視し、これが予め定められた前記第1、第2励振信号の最大周波数を逸脱した場合は、前記帯域通過フィルタの中心周波数を強制的に予め定められた初期周波数に設定すること（請求項12）、または前記帯域通過フィルタの中心周波数を強制的に最小周波数から掃引することができる（請求項13）。

【0030】

【作用】いま、従来から質量流量や密度を測定するために用いられている振動モードを第1の振動モード、これを測定するためのセンサを第1振動検出器と呼ぶ。これに対し、新たに周波数比を測定するために用いられる振動モードを第2の振動モード、これを測定するためのセンサを第2振動検出器と呼ぶ。第1振動検出器と第2振動検出器は別々であっても良いし、同じセンサで両方を兼ねても良い。同じセンサで両方を兼ねれば部品が減り、コストダウンが図れる（請求項4）。

【0031】上記第2の振動モードの共振周波数を測定する場合、第2振動検出器を第2の振動モードの腹に当

たる位置付近に取り付けると、振動振幅が他の位置より大きいので、より大きな出力を得ることができ、精度の良い周波数測定ができる。特に、質量流量計として振動型測定器を用いるときには、第1振動検出器（図14の例では6a、6b）で得られる質量流量に対する時間差（位相差）の信号に対し、第2の振動モードの振動が外乱として作用するため、第2の振動モードの振動を小さく抑えた方が良い。そのために、検出感度の良い位置に第2振動検出器を取り付けると、感度が良くなる分第2の振動モードの振動を小さく抑えることができる（請求項1、5）。また、第1の振動モードの影響が非常に小さい位置に第2振動検出器を取り付けると、その影響が少なくなるので第2の振動モードの振動を小さく抑えることができる（請求項2）。

【0032】また、第1振動検出器を第2の振動モードの節に当たる位置付近に取り付けると、第2の振動モードの影響が非常に小さい状態で、第1の振動モードの測定ができる。特に、前述のように、質量流量計として振動型測定器を用いるときに有効である（請求項3）。さらに、特に質量流量計として振動型測定器を用いる際は、測定管の振動が、測定管の長さ方向の中心に対し、左右で対称になっていることが望ましい。これは、左右に対称に取り付けられた第1振動検出器の間の時間差（位相差）にもとづき、質量流量を測定するからである。もし、測定管の振動が左右でアンバランスになると、左右の第1振動検出器の間で発生する時間差（位相差）がアンバランスになり、温度変化、軸力変化、流体の密度変化等に対する特性が悪化するというわけである。

【0033】そのため、第1振動検出器および第2振動検出器はそれぞれ、測定管の長さ方向の中心に対し、左右に対称に取り付けられることが望ましい（請求項6）。第1振動検出器または第2振動検出器が単数の場合は、測定管の長さ方向の中心に対称の位置に、ほぼ同一質量のバランス・ウェイトを取り付けて、測定管の左右の対称を保つようにすることが望ましい（請求項7）。

【0034】図14の従来例では、振動発生器5と駆動回路8により、測定管2を第1の振動モード共振周波数で励振していた。この発明では、新たに第2の振動モード共振周波数を測らねばならず、そのためには、測定管が第2の振動モードで或る程度振動している必要がある。そこで、第1の振動モードと同様に、振動発生器や駆動回路等により、第2の振動モード共振周波数で測定管を励振してやると、第2の振動モード共振周波数を安定して測定することができる。これを行わず、自然に発生した第2の振動モードの振動から第2の振動モード共振周波数を測ろうとしても、振動が十分でなく安定した測定はできない。

【0035】そこで、この発明では測定管2の第1の振

動モード共振周波数の励振と、第2の振動モード共振周波数付近の励振を重畳させた励振を行ない、第1の振動モードの測定と第2の振動モードの測定を安定して行なえるようにしている（請求項8）。この際第2の振動モード共振周波数付近の励振としては、第2の振動モード共振周波数の単一の周波数の励振としても良い。また、中心周波数の制御が可能な帯域通過フィルタを用いること、この種の帯域通過フィルタとしてスイッチドキャパシタフィルタを用いること等により、安定かつ安価に第2の振動モード共振周波数の測定を可能にする（請求項9、10）。さらに、第2の振動モード共振周波数を含んだ周波数範囲において時間的に掃引する構成にしても良い（請求項11）。また、上記通過帯域フィルタ（BPF）の中心周波数が、外的要因等により検出部の励振周波数からずれることで発振が停止しても、第1、第2励振信号の周波数を監視して、BPF制御回路によりBPFの中心周波数を自然掃引または強制掃引するようにすれば発振を復帰させられるので、第1、第2の振動モードの共振周波数の測定が、安定かつ継続的に可能となる（請求項12、13）。

【0036】

【発明の実施の形態】図1はこの発明の実施の形態を示す構成図である。同図からも明らかなように、この実施形態の特徴は例えば第1の振動検出器としての速度検出センサ（変位センサまたは加速度センサでも良い）6aが、第2の振動検出器6dを兼ねている点、温度センサ10を付加した点、また、信号処理回路9を周波数比演算部91、位相差演算部92、温度演算部93および補正演算部94などから構成した点にあり、その他は図14に示すものと同様である。したがって、ここではこれらの相違点を中心に説明する。

【0037】ここでは、駆動回路8より振動発生器5と速度センサ6aによって測定管2をその第1の振動モード共振周波数、または第2の振動モード共振周波数付近、もしくはその双方の周波数で振動させ、速度センサ6aの出力のうち特に第1の振動モードの信号振幅が一定値となるように、駆動回路8から出力され振動発生器（ドライバ）5に供給されるドライブ信号の制御が行なわれる。

【0038】速度センサ6a、6bからの信号は位相差演算部92に輸入され、ここで信号の位相差に比例した信号が得られ、補正演算部94に与えられる。速度センサ6aからの信号は周波数比演算部91に輸入され、ここで第1の振動モード共振周波数と第2の振動モード共振周波数の比に比例した信号を求め、その結果が補正演算部94に輸入される。また、温度センサ10からの信号は温度演算部93で温度信号に変換された後、補正演算部94に輸入される。補正演算部94には、他に速度センサ6aの信号が直接入力される。

【0039】補正演算部94は周波数比演算部91、位

相差演算部92、温度演算部93および速度センサ6aからの出力を受け、位相差演算部92からの位相差信号を、ここでは速度センサ6aから得られる測定管の第1の振動モードの共振周波数により周波数補正し、時間差信号に変換する。この時間差信号は、補正演算部94で温度演算部93からの温度信号により補正されるとともに、周波数比演算部91からの共振周波数比信号による測定管の軸力変化にともなう感度補正が行なわれた後、流量信号に変換されて出力される。

10 【0040】図2（a）、（c）は図1の検出部のみを
図示したもので、図2（b）は測定管2が3次モードの横振動をしているときのたわみ形状の模式図で、曲線21は測定管2の3次モードの横振動のたわみ形状を示している。図2（a）では速度センサ6a、6bが第1振動検出器に当たり、速度センサ6aが第2振動検出器6dを兼ねている。この例では、第1の振動モードとして基本モード、第2の振動モードとして3次モードを用いている。速度センサ6a、6bは測定管2の3次モードの腹（曲線21の左右の極大点付近）の位置に、測定管2の中心に対し対称に取り付けられている。このことにより、測定管2の振動の左右のバランスをとり、かつ、第2の振動モードの検出感度を高めることになる。

20 【0041】図2（c）では、第1振動検出器6a、6bが測定管2の3次モードの節に取り付けられており、第1の振動モードの測定に対する第2の振動モードの影響を小さくしている。さらに、第2振動検出器として、アダプタ7dにより支持部4a、4bに固定されたコイルと測定管2に固定されたマグネットとから構成され測定管2の振動を検出する速度検出センサ6d（変位センサまたは加速度センサでも良い）が、別に取り付けられている。このセンサ6dは、測定管2の3次モードの腹の位置に取り付けられており、第2の振動モードの検出感度を高めている。また、センサ6dのマグネットとはほぼ同一質量のバランス・ウェイト11が、測定管2の中心に対しセンサ6dと対称に取り付けられていて、測定管2の振動の左右のバランスをとっている。

30 【0042】図3はこの発明の別の実施の形態を示す。この例では、第1の振動モードとして3次モード、第2の振動モードとして基本モードを用いている。同図

40 （a）は測定管2が3次モードの横振動をしているときのたわみ形状の模式図で、曲線21は測定管2の3次モードの横振動のたわみ形状を示している。同図（b）は検出部の構成を示し、ここでは第2振動検出器として、アダプタ7dにより支持部4a、4bに固定されたコイルと測定管2に固定されたマグネットとから構成され測定管2の振動を検出する速度検出センサ6d（変位センサまたは加速度センサでも良い）が、別に取り付けられている。このセンサ6dは、測定管2の3次モード（第1の振動モード）の節の位置に取り付けられており、第2の振動モードの検出に対する第1の振動モードの悪影

響を回避するようにしている。また、センサ6dのマグネットとはほぼ同一質量のバランス・ウェイト11が、測定管2の中心に対しセンサ6dと対称に取り付けられていて、測定管2の振動の左右のバランスをとっている。

【0043】図4は測定管2の第1の振動モード共振周波数の励振と、第2の振動モード共振周波数付近の励振とを重畳させた励振を行なうための、駆動回路の構成例を示すブロック図である。なお、ここでは第2の振動モード共振周波数付近の励振を、単一の第2の振動モード共振周波数で行なっている。なお、同図の811、816はアンプ、812、813は帯域通過（バンドパス）フィルタ（BPF）、82は第1の振動モード発振回路、83は第2の振動モード発振回路、84は加算器、85は電流ブースターである。

【0044】同図において、アンプ811はセンサ6aから出力された信号を増幅し、インピーダンス変換を行なう。図に点線で示す経路815、アンプ816および経路817は、第2振動検出器としてのセンサ6dが第1振動検出器とは別に設けられているときのみ、用いられる。そのときは、BPF813には経路817から信号が入力され、経路814は使われない。また、アンプ816はアンプ811と同じ働きをする。これに対し、センサ6aが第1振動検出器と第2振動検出器を兼ねている、図1に示すようなときは815～817は使われず、経路814からBPF813に信号が入力される。

【0045】BPF812は、第2の振動モード周波数の信号を除去し、第1の振動モード周波数の信号のみを、第1の振動モード発振回路82に出力する。これに対し、BPF813は第1の振動モード周波数の信号を除去し、第2の振動モード周波数の信号のみを、第2の振動モード発振回路83に出力する。この第1の振動モード発振回路82、第2の振動モード発振回路83は、発振周波数の違いにより回路定数が異なるだけで、基本構成は同じである。

【0046】その構成例を図5に示す。なお、同図において、821はアンプ、822は検波回路、823は比較増幅器、824は位相調整回路である。アンプ821は信号を増幅しインピーダンス変換するもので、その出力は検波回路822と比較増幅器823に与えられる。検波回路822では信号の振幅が検出され、比較増幅器823に送られる。比較増幅器823では、検波回路822から送られてくる信号の振幅が一定となるよう、アンプ821から送られてくる信号（正弦波）の振幅を調節して出力する。比較増幅器823の出力は位相調整回路824に送られ、ここで位相シフトされた後、図4の加算器84へと送られる。

【0047】加算器84では、第1の振動モード発振回路82と第2の振動モード発振回路83の各出力を加算し、第1の振動モード周波数に第2の振動モード周波数を重畳した信号を電流ブースター85に送る。電流ブー

スター85では、入力信号に比例する電流をドライバ5に流す。測定管2はこの電流に応じて加振されることになり、その振動はセンサ6a、6dにて検出され、駆動回路8へ送られる。

【0048】以上のように、検出部1と駆動回路8とで閉ループの発振系を形成している。発振回路82、83では、BPF812、BPF813との組み合わせでループの周波数帯域を設定し、位相調整回路824で位相遅れを調節することにより、それぞれ第1の振動モードと第2の振動モードで並行して、同時に発振させることができる。これにより、第1の振動モード共振周波数と第2の振動モード共振周波数（単一）の重畳した励振を行なうことができる。また、比較増幅器823により出力信号振幅を調節することにより、ドライバ5の加振力を、第1の振動モードと第2の振動モードの信号振幅がそれぞれ一定となるように、調節できる。周波数比は、BPF812、BPF813の出力がそれぞれ、図1に示す周波数比演算部91に送られ、それぞれがカウントされることにより求められる。

【0049】図6に駆動回路の別の例を示す。これは、図4に示すものに対しBPF制御回路86、87を付加して構成される。BPF812の中心周波数はBPF制御回路86により、また、BPF813の中心周波数はBPF制御回路87によりそれぞれ設定されている。ただし、第1の振動モード信号に対して第2の振動モード信号を十分小さくする場合は、BPF812を省略でき、第2の振動モード信号に対して第1の振動モード信号を十分小さくする場合は、BPF813を省略することができる。

【0050】BPF制御回路の構成例を図7に示す。同図に示すように、コンパレータ861、PLL（フェーズ・ロックド・ループ回路）862および分周器863等より構成される。すなわち、第2の振動モード周波数の信号（正弦波）が入力されるコンパレータ861では、この入力信号を同一周波数の方形波に変換しPLL862に出力する。PLL862は分周器863とともに、周波数通倍回路を形成する。

【0051】ここで、BPF812、813を、例えばスイッチドキャパシタフィルタにより構成する。このスイッチドキャパシタフィルタの原理は図8に示すように、クロック周波数（ ϕ ）と内蔵のコンデンサにより抵抗を模擬する手法にもとづくフィルタであることは、良く知られているところである。したがって、クロック周波数を変化させることにより、中心周波数を変化させることが可能である。そして、クロック周波数と中心周波数との比がm1の場合、分周器863の分周率をm1とすると、図7のPLL862の出力は入力m1倍の周波数となる。そこで、この出力をBPF812、813のクロックとして入力することにより、BPF812、813の周波数を第1、第2の振動モード周波数と等し

くすることができる。

【0052】図9は測定管2の第1の振動モード共振周波数の励振と、第2の振動モード共振周波数付近の励振とを重畳させた励振を行なう駆動回路8、および周波数比演算部91の例を示すブロック図である。なお、駆動回路8は図4に示すものに対し、コンパレータ861、PLL862、分周器863、864、LPF（低域フィルタ）867およびアンプ868を付加して構成される。また、周波数比演算部91の符号911はアナログ／デジタル（A/D）変換器、912はディスクリー

フトフーリエ変換演算器（DFT演算器）、913はマイクロプロセッサユニット（MPU）、914はPLL、915は分周器である。

【0053】この実施例では、第2の振動モード共振周波数付近の励振を、第2の振動モード共振周波数を含む周波数範囲において時間的に掃引して行なっている。まず、センサ6aの出力がアンプ811に送られる。この例では、センサ6aが第1振動検出器と第2振動検出器を兼ねている。アンプ811の役目は前述と同様であり、その出力はBPF812と周波数比演算部91に与えられる。

【0054】BPF812の働きは上述と同様で、第2の振動モード周波数付近の信号を除去し、第1の振動モード周波数の信号のみを出力する。この出力は、コンパレータ861、第1の振動モード発振回路82に送られる。この第1の振動モード発振回路82の働きは図4の場合と同じで、測定管2を第1の振動モードで安定して発振させるものである。

【0055】コンパレータ861では、入力される第1の振動モード周波数の信号（正弦波）を同一周波数の方形波に変換し、PLL862に出力する。PLL862は分周器863とともに周波数連倍回路を形成しており、分周器863の分周率が $m1$ のとき、出力は $m1$ 倍の周波数となる。分周器863の分周率 $m1$ は、周波数比演算部91内のMPU913により設定できるようになっている。

【0056】周波数が $m1$ 倍された信号は、さらに分周器864で周波数を $1/m2$ 倍される。分周器864の出力は一般に方形波なので、LPF867で高調波を取り去り、基本周波数の正弦波に変換する。さらに、アンプ868にて増幅、インピーダンス変換され、第2の振動モードの励振信号として、加算器84に入力される。加算器84や電流ブースター85の働きは図4の場合と同様である。

【0057】いま、第1の振動モード周波数を $f1$ とすると、第2の振動モードの励振信号周波数 $f2$ は、 $f1 * m1 / m2$ となる。ここで、MPU913により $m1$ を時間的に掃引すれば、 $f2$ が時間的に掃引される。 $f2$ の掃引範囲は、第2の振動モードの共振周波数を含むよう十分広く、かつ、他の振動モードの共振周波数を

含まぬよう、また、掃引に要する時間が長くなりすぎないように設定する。掃引の周波数分解能は、 $f1 * 1 / m2$ となる。このように、第2の振動モードの励振周波数の時間的な掃引が行なわれる。

【0058】次に、周波数比演算部91について説明する。周波数比演算部91には、アンプ811で増幅、インピーダンス変換されたセンサ6aからの出力と、第2の振動モードの励振信号周波数 $f2$ である分周器864からの出力が入力される。周波数 $f2$ である分周器864からの出力は、PLL914と分周器915からなる周波数連倍回路に入力され、周波数を n 倍される。

【0059】A/D変換器911では、この n 倍の周波数 $n * f2$ をサンプリング・クロックとして、アンプ811からの出力をデジタル値に変換し、DFT演算部912に送る。DFT演算部912では、サンプリング周波数の $1/n$ の周波数成分の、信号振幅を求めるように設定されている。したがって、第2の振動モードの励振信号の周波数 $f2$ と同じ周波数の信号成分の振幅が、求められる。求められた信号振幅値は、MPU913に与えられる。

【0060】MPU913に送られる信号振幅は、 $f2$ の掃引範囲が第2の振動モードの共振周波数を含み、かつ、他の振動モードの共振周波数を含まぬよう設定されているので、 $f2$ が第2の振動モードの共振周波数に1番近いときに最大となる。したがって、MPU913は $f2$ の掃引範囲でDFT演算部912の出力が最大となるときに $m1$ の値を検出し、 $m1 / m2$ の演算をすることで、周波数比 $f2 / f1$ を求めることができる。このとき、周波数比の分解能 $1 / m2$ は周波数比により補正を行なうのに十分な値に設定する必要がある。

【0061】図6は、さらに図10のように変形することができる。これも、測定管2の第1の振動モード共振周波数の励振と、第2の振動モード共振周波数付近の励振とを重畳させた励振を行なう駆動回路8の例であり、ここでは、第2の振動モード共振周波数付近の励振を、単一の第2の振動モード共振周波数で行なっており、図6に示すものに対しリセット信号発生回路88、89を付加した点、およびBPF制御回路86、87の出力を図1の周波数比較部91へ導入するようにした点が特徴である。また、BPF制御回路86、87は図7と同じであるが、ここで用いるPLL回路862を、例えば図11の如く、位相比较器865、ループフィルタ866およびVCO（ボルテージ・コントロールド・オシレータ：電圧制御発振器）867等より構成する。

【0062】すなわち、位相比较器865からの交流成分を持つ出力をループフィルタ866により積分し、直流電圧に変換する。VCO867は直流電圧に比例する周波数で発振するので、位相比较器865の入力信号と分周器863の出力信号の位相差が一定になるように、VCO867を制御する。ここで、ループフィルタ86

17

6をコンデンサ868、スイッチ(SW)869などから構成し、SW869をオンにしてコンデンサ868に蓄積された電荷を放電させることにより、VCO867は任意に設定された最小周波数から最大周波数まで、自然掃引を行なうことになる。

【0063】上記SW869を制御するのがリセット信号発生回路88、89である。すなわち、リセット信号発生回路88、89により振動モード周波数を測定し、それが最大周波数になったらSW869をオンするような信号を発生するよう構成しておけば、発振停止等によりPLL862の発振周波数が最大周波数になった場合に、発振が復帰するまでPLL862を掃引できることになる。なお、リセット信号発生回路88、89は、例えばマイクロコンピュータ等のコンピュータにより簡単に実現することができる。

【0064】図12にBPFの中心周波数を最小周波数から強制的に掃引する場合の、BPF制御回路86、87の構成例を示す。これは、図7に示すものと同じくコンパレータ861、PLL862および分周器863等から構成するが、分周器863に図1の周波数比演算部91からの制御信号を導入するようにした点で、図7と異なっている。すなわち、分周器863には周波数比演算部91の制御信号により分周比が設定されるようになっており、この分周比を変えることによりBPFの中心周波数を最小周波数から最大周波数まで強制的に掃引を行なう。なお、強制掃引を行なっている間は、BPFの出力を周波数比演算部91により監視し、その出力が或る設定レベル以上の場合には強制掃引を停止させ、自己トラッキングに切り換えるようにする。

【0065】

【発明の効果】この発明によれば、測定管の横振動の第1の振動モード共振周波数と第2の振動モード共振周波数との比を求め、測定管に作用する軸力変化にともなう感度変化の補正を、温度補正に加えて行なうとともに、第2振動検出器を第2の振動モードの腹付近または第1の振動モードの節付近に取り付けるようにしたので、検出部の構成を特に複雑化せず、かつ振動型測定器の安定性を損なうこともなく、さらには過渡的な温度変化時にも正確な測定が可能になるだけでなく、第2の振動モードの検出感度を高めることができるなどの利点もたらされる。その際、第2振動検出器を第1振動検出器にて兼用すれば、構造が簡単になる。

【0066】また、第1振動検出器を第2の振動モードの節付近に取り付けることにより、第2の振動モードの第1の振動モード計測に及ぼす影響を小さくすることができる。第1振動検出器および第2振動検出器を、測定管の軸方向の中心に対して対称に取り付けること、さらには、第1振動検出器または第2振動検出器が単数のときは、測定管の長さ方向の中心に対して対称な位置にバ

18

の振動を長さ方向の中心に対して左右で対称に保つことが可能となる。加えて、測定管の第1の振動モード共振周波数の励振と、第2の振動モード共振周波数付近の励振とを重畳させた励振を行なうと、安定に第2の振動モード共振周波数の測定を行なうことができる。このとき、第1、第2の振動モードの周波数付近での励振周波数に対応して、中心周波数に変化する通過帯域フィルタ(BPF)を用いているが、外的要因等により、このフィルタの中心周波数が検出部の励振周波数からずれることで発振が停止しても、第1、第2励振信号の周波数を監視して、BPF制御回路によりBPFの中心周波数を自然掃引または強制掃引させることにより、発振を復帰させるようにしたので、継続的に安定して第1、第2の振動モードの共振周波数の測定が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施の形態を示す構成図である。

【図2】検出部の構成と測定管のたわみ形状との関係を説明する説明図である。

【図3】この発明の他の実施の形態説明図である。

【図4】駆動回路の具体例を示すブロック図である。

【図5】振動モード発振回路の具体例を示すブロック図である。

【図6】図4に示す駆動回路の変形例を示すブロック図である。

【図7】BPF制御回路の具体例を示すブロック図である。

【図8】スイッチドキャパシタフィルタの原理説明図である。

【図9】駆動回路、周波数比演算部の具体例を示すブロック図である。

【図10】図6の変形例を示すブロック図である。

【図11】BPF制御回路で用いられるPLL回路の具体例を示すブロック図である。

【図12】BPF制御回路の変形例を示すブロック図である。

【図13】測定管の軸力と共振周波数比との関係例を説明するための特性図である。

【図14】従来例を示す構成図である。

【図15】流体に作用する加速度を説明するための説明図である。

【図16】測定管に作用する流体反力の影響を説明するための説明図である。

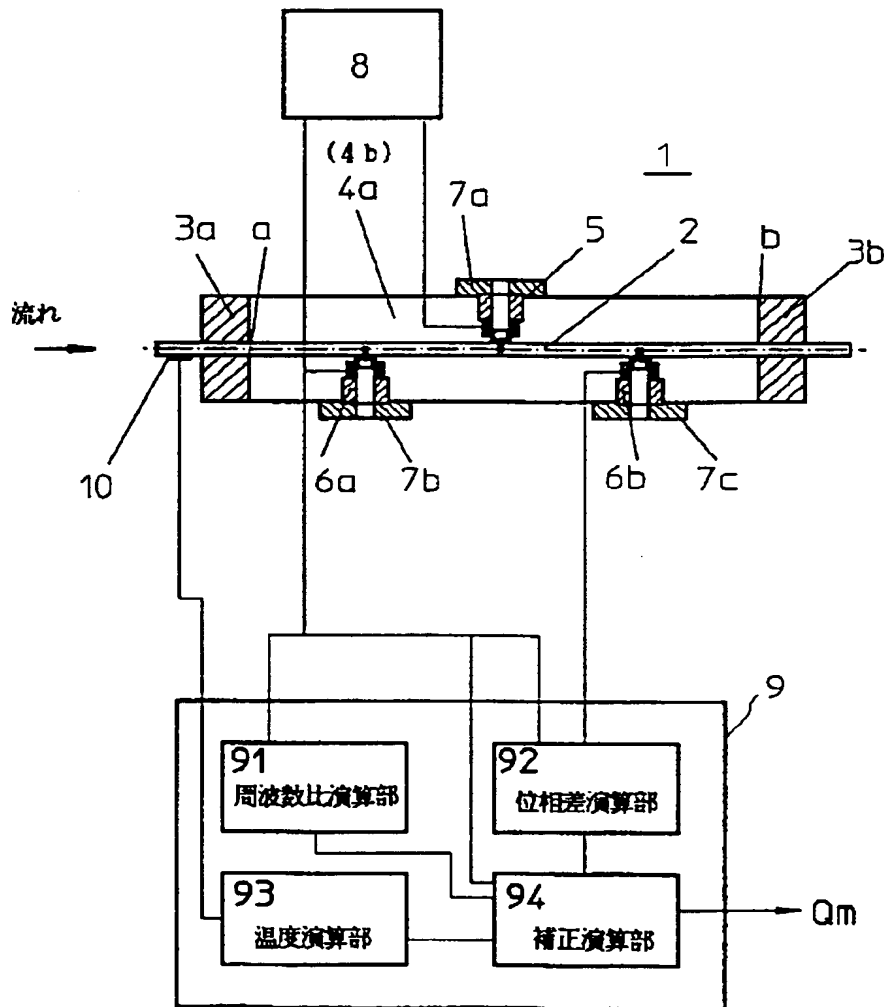
【符号の説明】

1…検出部、2…測定管、3a、3b…固定材、4a、4b…支持部、5…振動発生器(ドライバ)、6a、6b、6d…速度検出センサ、7a、7b、7c、7d…アダプタ、8…駆動回路、9…信号処理回路、10…温度センサ、11…バランス・ウェイト、82…第1の振動モード発振回路、83…第2の振動モード発振回路、84…加算器、85…電流ブースター、86、87…B

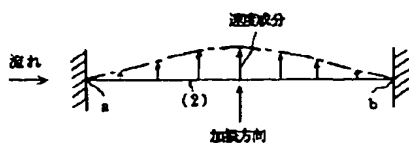
PF制御回路、88、89…リセット信号発生回路、91…周波数比演算部、92…位相差演算部、93…温度演算部、94…補正演算部、811、816、821、868…アンプ、812、813…BPF、822…検波回路、823…比較増幅器、824…位相調整回路、*

*861…コンパレータ、862、914…PLL、863、864、915…分周器、865…位相比較器、866…ループフィルタ、867…VCO、868…コンデンサ、869…スイッチ(SW)、911…A/D変換器、912…DFT演算器、913…MPU。

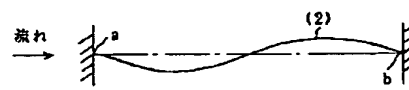
【図1】



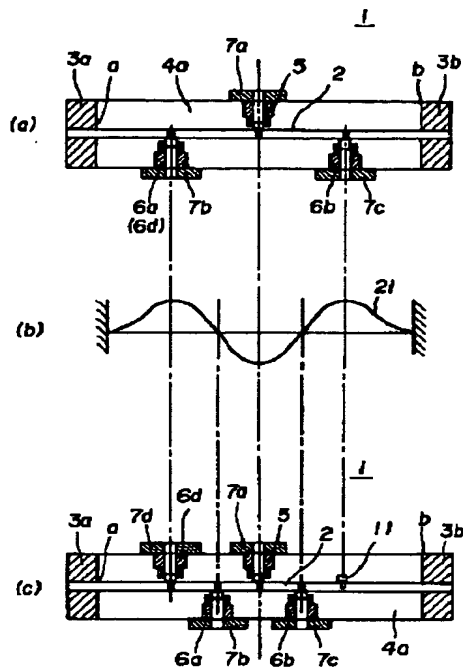
【図15】



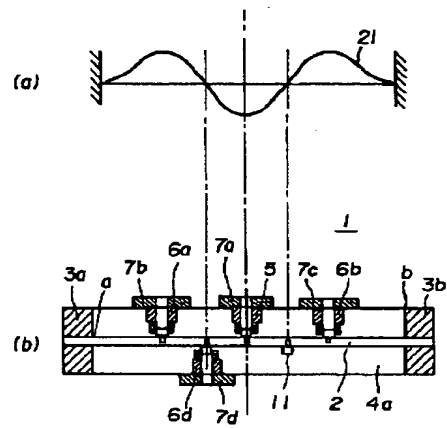
【図16】



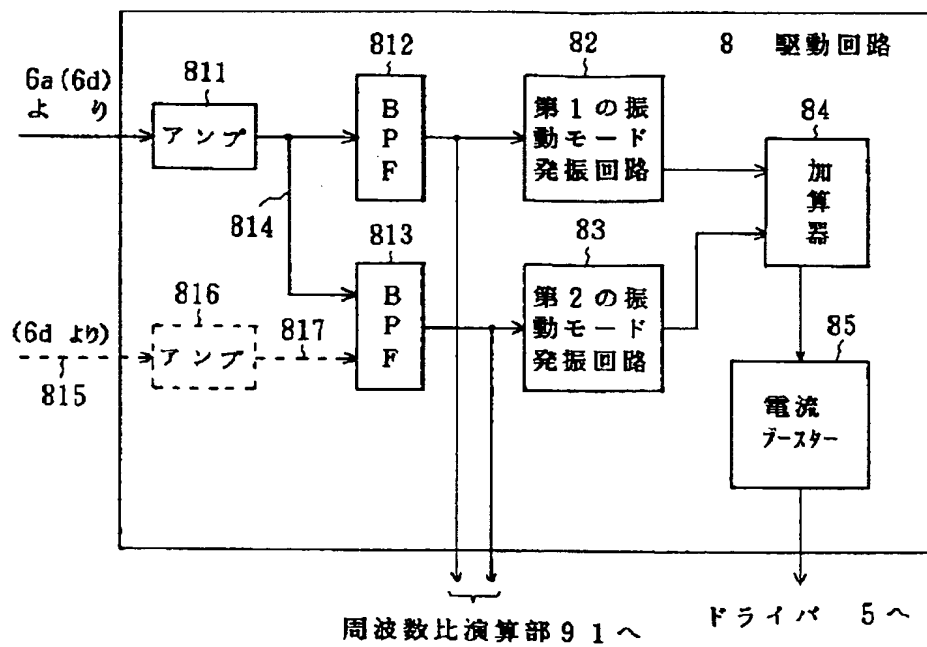
【図2】



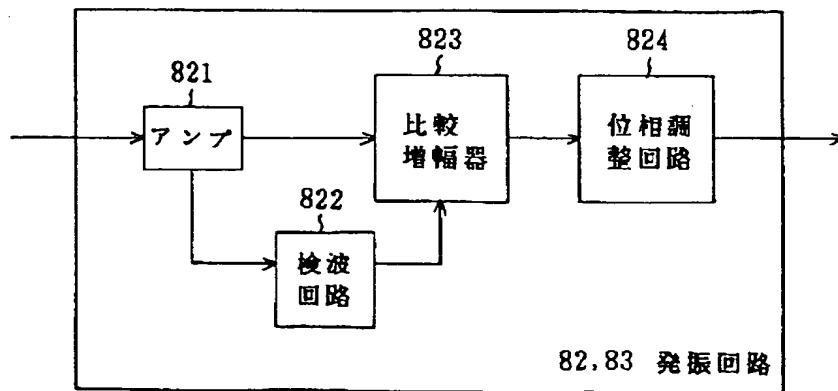
【図3】



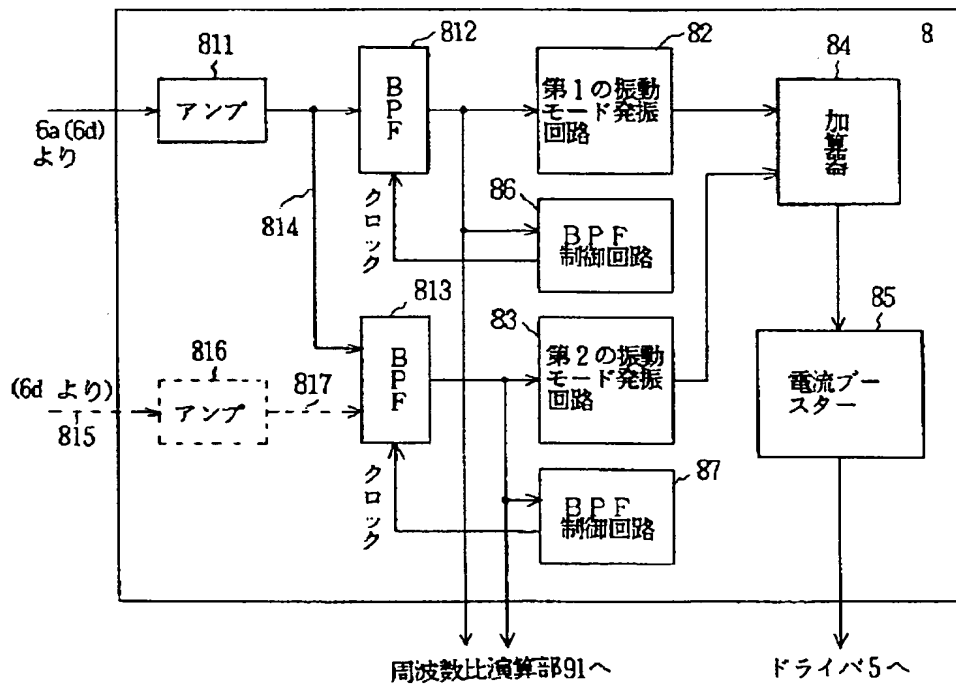
【図4】



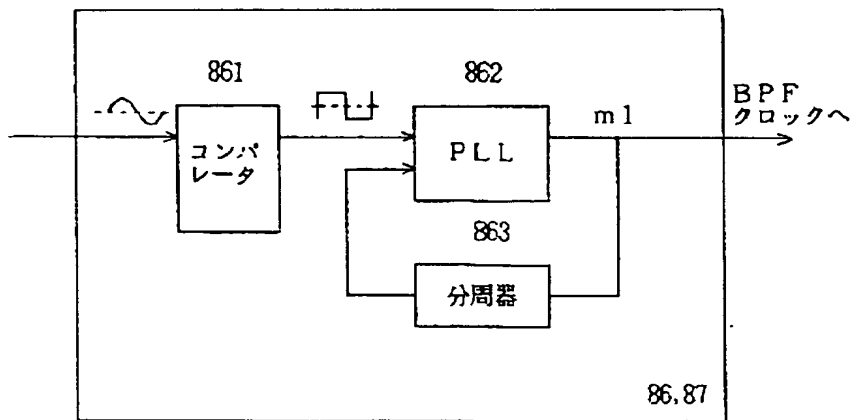
【図5】



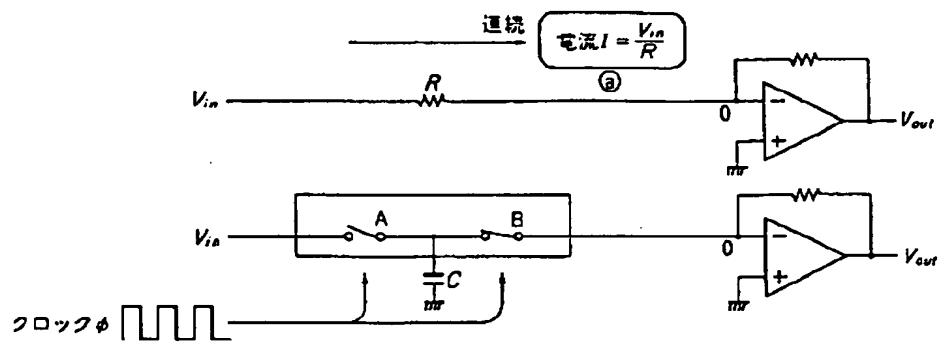
【図6】



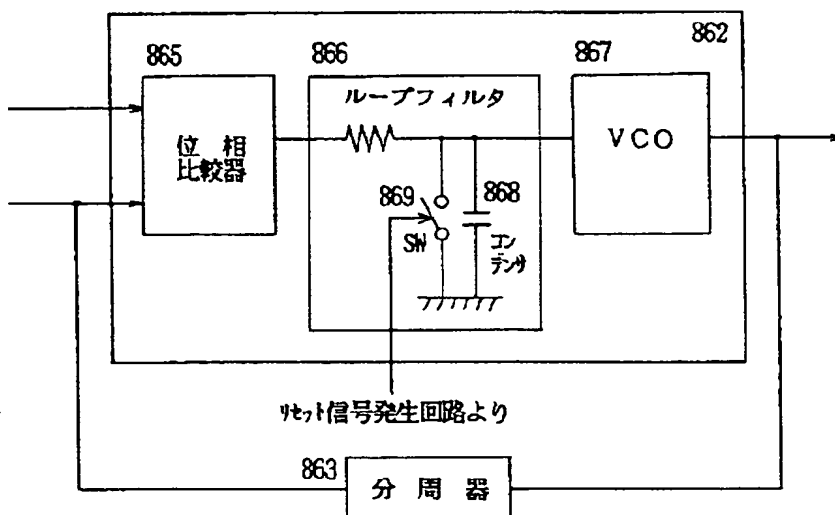
【図7】



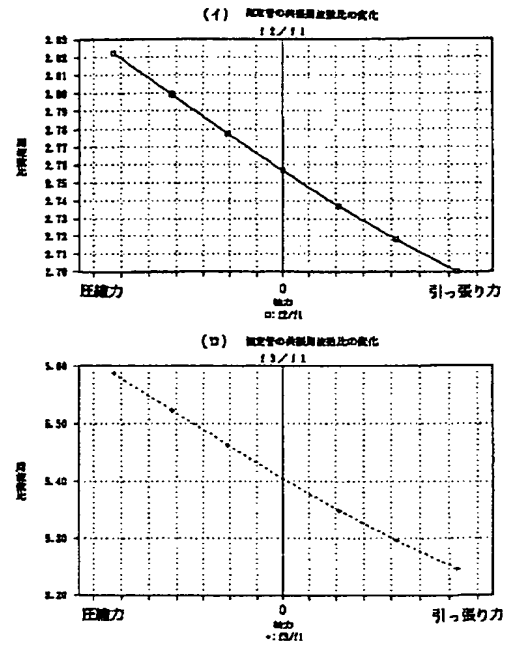
【図8】



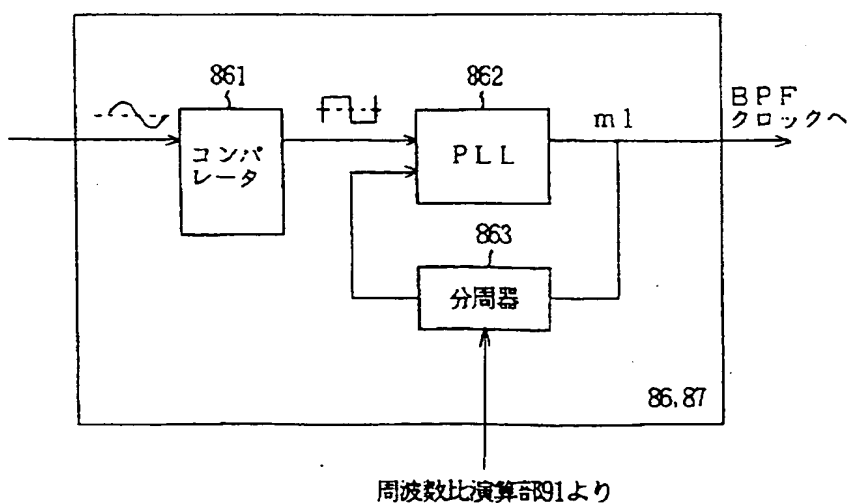
【図11】



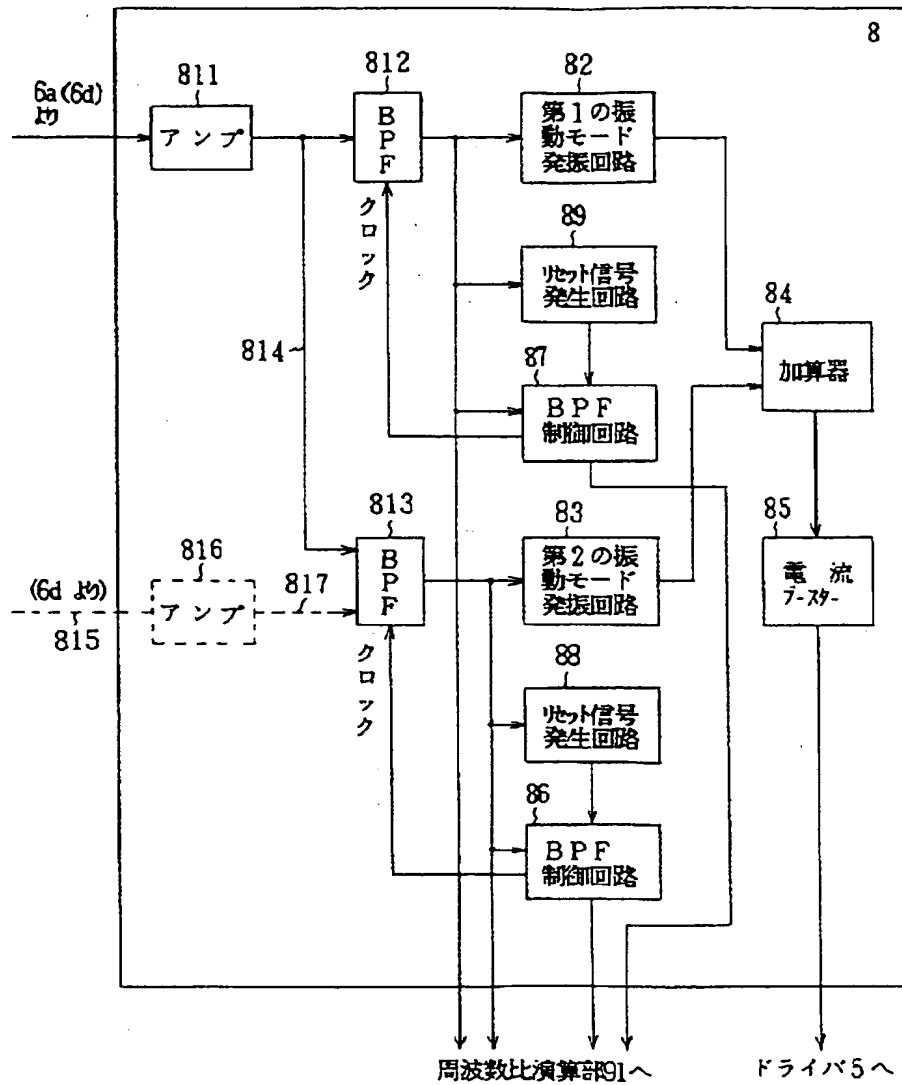
【图 13】



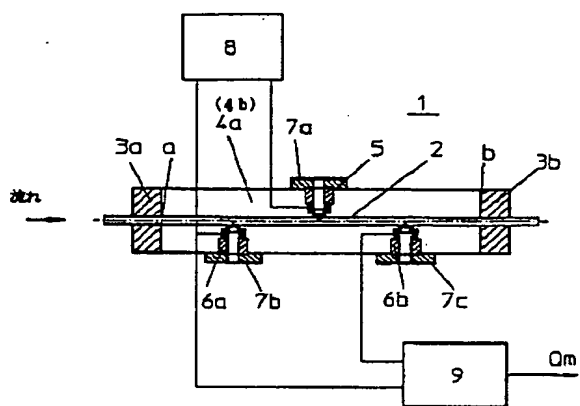
【圖 12】



【図10】



【図14】



INDEX



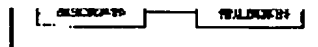
PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

G01F 1/84

YOSHIMURA HIROYUKI
KUDO TAKAHIRO
KIDAI MASAMI

Priority number: 07220128 Priority date: 29.08.1995 Priority country: JP

detector (common to a sensor 6a) is provided at a position corresponding to the antinode of the second vibration mode of the tube 2 (or the node of the first vibration mode), thereby improving the detection sensitivity.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 25.12.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998 Japanese Patent Office

[MENU](#)

[SEARCH](#)

[INDEX](#)